



TUGAS AKHIR - TM091585

**STUDI EKSPERIMEN PROSES *TEMPERING* TERHADAP
KEKERASAN PERMUKAAN DAN ESTIMASI KEAUSAN**

**WINDRA SAMPURNA
NRP. 2112 105 021**

**Dosen Pembimbing
Ir. Yusuf Kaelani, MSc.E**

**JURUSAN TEKNIK MESIN
Fakultas Teknologi Industri
Institut Teknologi Sepuluh Nopember
Surabaya 2016**



FINAL PROJECT - TM091585

EXPERIMENTAL STUDY TEMPERING PROCESS FOR SURFACE HARDENING AND WEAR ESTIMATION

WINDRA SAMPURNA
NRP. 2112 105 021

Academic Supervisor
Ir. Yusuf Kaelani, MSc.E

DEPARTMENT OF MECHANICAL ENGINEERING
Faculty of Industrial Technology
Sepuluh Nopember Institute of Technology
Surabaya 2016

**STUDI EKSPERIMEN PROSES *TEMPERING*
TERHADAP KEKERASAN PERMUKAAN DAN
ESTIMASI KEAUSAN**

TUGAS AKHIR

Diajukan Untuk Memenuhi Salah Satu Syarat
Memperoleh Gelar Sarjana Teknik
pada
Program Studi S-1 Jurusan Teknik Mesin
Fakultas Teknologi Industri
Institut Teknologi Sepuluh Nopember

Oleh :

Windra Sampurna
Nrp. 2112 106 037

Disetujui oleh Tim Penguji Tugas Akhir :

1. Ir. Yusuf Kaelani, MSc.E (Pembimbing)
NIP. 196511031990021001
2. Dr. Ir. Agus Sigit Pramono, DEA (Penguji I)
NIP. 196508101991021001
3. Ir. Julendra Bambang Ariatedja, MT (Penguji II)
NIP. 196807061999031004
4. Moch.Solichin, ST., MT (Penguji III)
NIP. 2100201405003



STUDI EKSPERIMEN PROSES *TEMPERING* TERHADAP KEKERASAN PERMUKAAN DAN ESTIMASI KEAUSAN

Nama Mahasiswa : WINDRA SAMPURNA
NRP : 2112 106 037
Jurusan : Teknik Mesin FTI-ITS
Dosen Pembimbing : Ir.Yusuf Kaelani,Msc.E

Abstrak

Akhir-akhir ini banyak beredar berbagai macam produk suku cadang pin piston mulai dari produk original yang biasanya berharga mahal, hingga produk-produk non original yang harganya relatif lebih murah. Saat ini produk non original yang dijual dipasaran, harganya setengah kali lipat lebih murah dibandingkan dari harga produk originall. Kualitas produk non original memang perlu dipertanyakan, melihat perbedaan harga yang cukup besar ini. Sehingga perlu membandingkan kualitas dari sifat-sifat mekanis antara pin piston original dengan non original yang telah mengalami proses perlakuan panas dengan proses holding time 60 menit.

Proses heat treatment dilakukan pada spesimen pin piston dilakukan pada suhu dibawah titik lebur yaitu 850°C dan ditahan selama 30 menit. Kemudian di quenching dengan air, dilanjutkan dengan proses tempering pada suhu 200°C, 400°C, 600°C dengan proses holding time selama 60 menit.

Hasil dari pengujian didapatkan bahwa nilai rata-rata kekerasan dengan metode Rockwell pada spesimen yang tidak diberikan perlakuan panas pada suhu ruang 28°C yaitu sebesar 55 HRC untuk spesimen original dan 54 HRC untuk spesimen non original. Pin piston non original masing-masing memiliki kenaikan sebesar 7,4 %, 1,85% dan penurunan sebesar 11,11 % pada setiap proses tempering 200°C, 400°C dan 600°C. Spesimen pin piston non original dengan proses tempering 200°C adalah spesimen yang nilai kekerasannya mendekati spesimen pin piston

original, dengan peningkatan kekerasan sebesar 5,45% dibandingkan dengan spesimen original.

Kata Kunci : Pin Piston, Heat Treatment, Tempering

EXPERIMENTAL STUDY TEMPERING PROCESS FOR SURFACE HARDENING AND WEAR ESTIMATION

Name : WINDRA SAMPURNA
NRP : 2112 106 037
Department : Mechanical Engineering FTI-ITS
Academic Supervisor : Ir.Yusuf Kaelani,Msc.E

Abstrct

Right now so many kind piston pin spare part on sale in market there are original product with prices most expensive, and than non original product with prices it is not most expensive. The prices of non original product is half most cheaper than original product. Quality of non original product most question, looking from different prices is realy so big. So we need comparison quality from mechanical properties between original piston pin with non original piston pin was have heat treatment process with holding time 60 minute.

heat treatment process on specimen piston pin is doing under melting point it is 850°C and holding time 30 minute, quenching with water, and than doing tempering process with temperature 200°C, 400°C, 600°C with holding time 60 minute..

Result of test on specimen without heat treatment process with Rockwell hardness test in temperature 28°C get result hardness value it is 55 HRC for original specimen and 54 HRC for non original specimen. Non original piston pin specimen has increasing 7,4 %, 1,85% and decreasing 11,11 % on tempering process 200°C, 400°C and 600°C. Non original piston pin specimen with tempering 200°C is more approaching hardness

value with original piston pin specimen with increasing value 5,45% compared with original specimen.

Keyword : Pin Piston, Heat Treatment, Tempering

KATA PENGANTAR

Segala puji dan syukur penulis curahkan kehadirat Allah SWT, karena atas berkah dan izin-Nya tugas akhir ini dapat terselesaikan. Penulis sangat menyadari bahwa keberhasilan dalam penulisan tugas akhir ini tak lepas dari dukungan dan bantuan berbagai pihak. Melalui kesempatan ini penulis ingin menyampaikan ucapan terima kasih kepada pihak-pihak yang telah banyak membantu dan mendukung baik secara moril maupun materil dalam proses penyelesaian tugas akhir ini, antara lain:

1. Ayahanda dan ibunda tercinta beserta keluarga yang selama ini mendukung penulis dalam proses belajar baik dukungan moril, materil maupun spiritual.
2. Bapak Ir. Yusuf Kaelani, MSc.E selaku dosen pembimbing tugas akhir yang telah banyak memberikan bimbingan, motivasi dan ilmu yang sangat bermanfaat bagi penulis.
3. Bapak Dr.Ir. Agus Sigit P., DEA, bapak Ir. Julendra Bambang Ariatedja dan bapak Moch. Solichin ST.,MT selaku dosen penguji tugas akhir yang telah memberikan saran dan motivasi bagi penulis.
4. Bambang Pramujati, ST.,M.Eeng,Sc,PhD., selaku Kepala Jurusan Teknik Mesin FTI ITS
5. Segenap dosen jurusan Teknik Mesin, terima kasih atas ilmu pengetahuan serta nasihat dan pengalaman yang telah diberikan, semoga Allah membalasnya, Amin Rekan seperjuangan lintas jalur yang membantu dalam penyusunan laporan tugas akhir ini.
6. Rekan satu kos yang membantu, memberi semangat dan saran bagi penulis.
7. Semua pihak yang tidak dapat disebutkan satu persatu oleh penulis.

Penulis menyadari masih banyak kekurangan dalam penyusunan tugas akhir ini, oleh karena itu saran dan masukan

dari semua pihak sangat penulis harapkan. Penulis berharap semoga tugas akhir ini dapat memberikan manfaat dan sumbangsih bagi perkembangan ilmu pengetahuan.

Surabaya, Juli 2016

Penulis

DAFTAR ISI

HALAMAN JUDUL	
LEMBAR PENGESAHAN	
ABSTRAK.....	vii
ABSTRACT	ix
KATA PENGANTAR.....	xi
DAFTAR ISI	xiii
DAFTAR GAMBAR	xv
DAFTAR TABEL	xvii
BAB I PENDAHULUAN.....	1
1.1. Latar Belakang	1
1.2. Rumusan Masalah	2
1.3. Tujuan Penelitian	2
1.4. Batasan Masalah	2
1.5. Manfaat.....	3
1.6. Sistematika Penulisan.....	3
BAB II TINJAUAN PUSTAKA	5
2.1. Tinjauan Pustaka	5
2.2. Landasan Teori.....	8
2.2.1. Pin Piston	8
2.2.2. Perlakuan Panas Pada Baja.....	9
2.2.3. Proses <i>Heat Treatment</i> Dengan Proses Pendingin	13
2.2.3.1. Proses Pendingin Tidak Langsung.....	13
2.2.3.2. Proses Pendinginan Langsung	15
2.3. Proses Tempering.....	16
2.4. Klasifikasi Baja	18
2.4.1. Baja Karbon Rendah	19
2.4.2. Baja Karbon Sedang	19
2.4.3. Baja Karbon Tinggi.....	20
2.5. Baja Paduan Rendah.....	20
2.5.1. Baja Chromium-Molybdenum.....	21
2.5.2. Baja Aisi 4140	22
2.6. Pengujian Kekerasan	24
2.6.1. Pengujian Brinell	24

2.6.2. Pengujian Vickers	25
2.6.3. Pengujian Rockwell	27
BAB III METODOLOGI PENELITIAN	30
3.1. Diagram Alir Penelitian	30
3.2. Langkah-Langkah Penelitian	31
3.2.1. Perumusan Masalah	32
3.2.2. Persiapan Spesimen	32
3.2.3. Pengujian Komposisi Kimia	32
3.2.4. Proses <i>Heat Treatment</i> Dan <i>Temper</i>	32
3.2.5. Pengujian Kekerasan Pin Piston <i>Non Original</i>	32
3.2.6. Pembuatan Grafik Dan Analisa Hasil	33
3.3. Pemilihan Material Benda Uji	34
3.4. Persiapan Material Benda Uji	34
3.5. Proses Perlakuan Panas	34
3.5.1. Proses Heat Treatment	35
3.5.2. Proses <i>Quenching</i>	35
3.5.3. Proses <i>Tempering</i> 200°C	35
3.5.4. Proses <i>Tempering</i> 400°C	36
3.5.5. Proses <i>Tempering</i> 600°C	36
3.6. Pengujian Sifat Mekanis	36
3.6.1. Pengujian Kekerasan	37
3.6.2. Metode Rockwell	38
BAB IV ANALISA DATA DAN PEMBAHASAN	41
4.1. Proses <i>Tempering</i> 200°C	41
4.2. Proses <i>Tempering</i> 400°C	41
4.3. Proses <i>Tempering</i> 600°C	42
4.4. Pengujian Kekerasan Rockwell Pada Permukaan	43
4.4.1. Data Hasil Pengujian Kekerasan Rockwel	43
4.4.2. Data Hasil Pengujian Kimia	45
4.4.3. Pembahasan Pengujian Kekerasan	47
BAB V KESIMPULAN DAN SARAN	50
5.1. Kesimpulan	50
5.2. Saran	51
DAFTAR PUSTAKA	
RIWAYAT PENULIS	

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1 Kerusakan Pin Piston	7
Gambar 2.2 Konstruksi Pin Piston.....	8
Gambar 2.3 Pin Piston	9
Gambar 2.4 Diagram <i>Near Equilibrium Ferrite-Cementid</i> (Fe-Fe ₃ c)	11
Gambar 2.5 <i>Isothermal Transformation Diagram</i>	14
Gambar 2.6 <i>Continous Colling Transformation Diagram</i>	15
Gambar 2.7 TTT Diagram Baja <i>Hypoeutectoid</i>	17
Gambar 2.8 Perhitungan Pengujian Brinell.....	25
Gambar 2.9 Indentor Uji Vickers	26
Gambar 2.10 Perhitungan Pengujian Vickers.....	27
Gambar 2.11 Indentor Pengujian Rockwell	28
Gambar 3.1 Flowchart Penelitian	31
Gambar 3.2 Flowchart Pengujian	33
Gambar 3.3 Proses <i>Tempering</i> 200°C.....	35
Gambar 3.4 Proses <i>Tempering</i> 400°C.....	36
Gambar 3.5 Proses <i>Tempering</i> 600°C.....	36

Gambar 3.6 <i>Rocwell Hardness Tester</i>	38
Gambar 3.7 Dimensi Ukuran Dan Titik Pengujian Kekerasan ..	40
Gambar 4.1 Proses <i>Tempering</i> 200°C	41
Gambar 4.2 Proses <i>Tempering</i> 400°C	42
Gambar 4.3 Proses <i>Tempering</i> 600°C	42
Gambar 4.4 Lokasi Pengujian Kekerasan Permukaan Pada Spesimen.....	43
Gambar 4.5 Pengaruh Komposisi Kimia Terhadap Kekerasan..	46
Gambar 4.6 Grafik Pengaruh Variasi <i>Tempering</i> Terhadap Kekerasan Permukaan Spesimen Uji	47

DAFTAR TABEL

Table 2.1	Klasifikasi <i>Alloy Steel</i> Berdasarkan Kimianya	22
Table 2.2	Komposisi Kimia Baja 4140 Standar AISI	23
Table 2.3	Sifat Fisik Dan Mekanik Baja AISI 4140	23
Table 3.1	Jumlah Benda Uji	34
Table 3.2	Skala Kekerasan Rockwell.....	39
Table 4.1	Hasil Pengujian Kekerasan Permukaan Pada Spesimen Pin Piston <i>Original</i> Dan Spesimen Pin Piston <i>Non Original</i>	43
Tabel 4.2	Hasil Pengujian Komposisi Kimia Pada Spesimen Uji	45

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Jaman sekarang produk sepeda motor berkembang pesat. Data Kepolisian tahun 2013 jumlah sepeda motor di Indonesia berjumlah 84.732.652 (www.bps.go.id). Jumlah tersebut akan terus meningkat seiring kebutuhan transportasi masyarakat. Agar kinerja mesin motor terjaga, tentunya harus dilakukan servis rutin dan jaminan ketersediaan suku cadang kendaraan. Salah satu suku cadang kendaraan yang dilakukan penggantian adalah pin piston. Pin piston merupakan komponen mesin yang berfungsi sebagai pemindah gaya dalam hubungan antara piston dengan connecting rod dan bushing piston. Saat ini di pasaran banyak beredar macam produk pin piston mulai dari produk orisinil yang sesuai standard penggunaan dan berharga mahal, hingga produk – produk non orisinil yang relatif lebih murah. Kualitas produk non orisinil pun perlu dipertanyakan, melihat perbedaan harga yang cukup besar.

Dalam bidang material baja karbon sedang AISI 4140 merupakan *low alloy chromium-molybdenum steels* dengan kadar karbon sedang yang termasuk dalam kategori *construction steels*, yang memiliki kandungan 0,38-0,43% C, 0,75-1,00% Mn, 0,15-0,30% Si, 0,80-1,10% Cr dan tambahan unsur lain yaitu 0,15-0,25% Mo, 0,04% Sulfur dan 0,035% Posphor. Salah satu aplikasi baja AISI 4140 ini digunakan sebagai sebuah produk pin piston. Baja ini relatif tangguh, dengan kemampuan *forging* yang tepat guna, berkekuatan sedang, baik dalam kondisi penganilan maupun *sphereoidisasi*.

Berdasarkan aplikasinya baja jenis ini dikembangkan dengan tujuan untuk memiliki sifat mekanik terutama kekerasan,

kekuatan dan ketahanan terhadap aus. Dengan Penelitian ini diharapkan akan didapat peningkatan kualitas pin piston non orisinil terhadap piston orisinil (AISI 4140)

Penelitian ini bertujuan untuk membandingkan kekerasan material pin piston original yang baru berkualitas tinggi dengan pin piston non original (imitasi) yang harganya relatif murah meski telah mengalami proses *heat treatment*. Metode yang digunakan yaitu dengan melakukan proses perlakuan panas *quench hardening* dengan media air sebagai pendinginnya dan *tempering* dengan variasi temperatur pada *pin* piston non orisinil sehingga kualitasnya mendekati pin piston orisinil.

1.2 Perumusan Masalah

Berdasarkan latar belakang diatas maka dapat dirumuskan permasalahan sebagai berikut :

1. Bagaimana pengaruh proses *heat treatment* pada material *pin* piston orisinil dan non orisinil.
2. Bagaimana pengaruh temperatur temper terhadap *pin* piston orisinil dan non orisinil.
3. Setelah dilakukan proses heat treatment pada material pin non orisinil apakah sifat mekaniknya mendekati sifat mekanik pin orisinil.

1.3 Tujuan

Tujuan dari penelitian ini adalah :

1. Untuk mengetahui kualitas sifat mekanik material pin piston orisinil dan non orisinil.
2. Untuk mengetahui proses tempering manakah yang memiliki sifat mekanik pada material pin piston non orisinil yang mendekati pin piston orisinil.

1.4 Batasan Masalah

Batasan dalam pembahasan tugas akhir ini terdapat beberapa batasan yang diambil guna menjaga alur permasalahan

utama agar tidak melenceng dari tujuan yang ada. Adapun batasan masalah yang digunakan diantaranya adalah :

1. Proses pembuatan *pin* piston dianggap sama.
2. Material dasar *pin* piston dianggap sama.
3. Tidak melakukan foto struktur mikro material uji.
4. Kekasaran permukaan *pin* piston tidak dianggap sama.
5. Tidak ada kesalahan dalam proses heat treatment.

1.5 Manfaat Tugas Akhir

Dari hasil penelitian, manfaat yang akan didapatkan antara lain sebagai berikut :

1. Dapat mengetahui kualitas sifat mekanik suatu material uji
2. Memberikan sumbangan pemikiran bagi pengembangan ilmu pengetahuan dan teknologi serta memberikan informasi kepada masyarakat.

1.6 Sistematika Penulisan Laporan

Adapun sistematika dalam penyusunan laporan untuk penelitian ini, terbagi dalam beberapa bab sebagai berikut :

1. BAB I PENDAHULUAN

Berisi tentang latar belakang, perumusan masalah, batasan masalah, tujuan dan manfaat, serta sistematika penulisan dari tugas akhir ini.

2. BAB II TINJAUAN PUSTAKA

Berisi mengenai beberapa informasi dan kajian teori, yang berkaitan dengan *pin* piston, analisa keausan dalam menghitung material *pin* piston.

3. BAB III METODOLOGI PENELITIAN

Berisi mengenai prosedur penelitian tugas akhir ini, meliputi pengambilan dan pengolahan data, proses *heat treatment*.

4. BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN

Berisi mengenai contoh perhitungan, analisa, dan pembahasan mengenai data yang diperoleh dari hasil penelitian.

5. BAB V KESIMPULAN DAN SARAN

Berisi mengenai kesimpulan analisa dan pembahasan. Selain itu, terdapat juga saran untuk pengembangan lebih lanjut yang dapat dilakukan dari adanya penelitian ini.

BAB II

DASAR TEORI

2.1 Tinjauan Pustaka

Berdasarkan hasil penelitian yang telah dilakukan oleh Willyanto Anggono, Ian Hardianto Siahaan, Agus Dwi Cahyono pada tahun 2008. Proses tempering dapat mengubah struktur mikro baja AISI 4140, dengan berubahnya struktur mikro maka sifat mekanisnya juga akan mengalami perubahan. Proses tempering dapat menaikkan angka kekerasan AISI 4140. Setelah akhir proses penelitian kenaikan angka kekerasan baja AISI 4140 mengalami kenaikan angka kekerasan 43,67% dari logam induk. Proses tempering dapat menaikkan kekuatan tarik baja AISI 4140. Pada akhir proses penelitian kenaikan kekuatan tarik AISI 4140 sebesar 4,12% dari logam induk. Proses tempering dapat menurunkan keuletan baja AISI 4140. Pada akhir proses penelitian penurunan keuletan baja AISI 4140 sebesar 18,5% dari logam induk. Proses perlakuan panas dengan optimasi proses Tempering dari bahan roller cyclo speed reducer AISI 4140 terbukti dapat digunakan sebagai solusi dalam mengatasi masalah sifat mekanik yang dihadapi dari *roller cyclo speed reducer* AISI 4140.(*Wilyanto Anggono, Dkk, 2008*)

Penelitian yang telah dilakukan oleh Fuad Abdillah pada tahun 2013. Nilai rata-rata kekerasan Rockwell material dasar yang tidak mengalami proses perlakuan panas pada suhu ruang 28°C yaitu sebesar 61,59 HRC untuk material orisinil AISI 4140 dan 60,24 HRC untuk material imitasi. Setelah dilakukan proses tempering 200°C dari material austenisasi dengan holding time 30 menit menjadi sebesar 60,45 HRC, dan ini adalah nilai kekerasan terbesar yang dimiliki dibanding dibanding raw material imitasi, dan mendekati raw material orisinil dan kekerasan terendah dimiliki material proses tempering 400°C dari material austenisasi

holding time 30 menit yaitu 47,34. Proses perlakuan panas dan holding time pada material baja pin piston imitasi pada saat dilakukan tempering sangat berpengaruh terhadap kekerasan dan ketangguhan baja sementara pada temperatur tempering 200°C dari material austenisasi hold time 15 menit, 30 menit dan 45 menit struktur yang terjadi hampir sama, yaitu struktur martensit yang bersifat keras dan rapuh berpresipitasi menjadi martensit temper namun tidak sempurna, sehingga masih terlihat martensit sisa yang berbentuk runcing seperti jarum. Struktur perlit (kelabu) lebih mendominasi ketimbang ferit (terang). Struktur mikro pada temperatur tempering 400°C dari austenisasi hold time 15 menit, 30 menit dan 45 menit, struktur martensit terlihat lebih sedikit karena suhu pemanasan yang lebih tinggi, dan struktur ferit dan perlit lebih merata. (Fuad Abdillah, 2013)

Penelitian yang sama juga dilakukan oleh Lely Susita R.M, dkk pada tahun 2012 mengenai deposisi lapisan nitrida pada permukaan pin dan ring piston dengan metode DC sputtering. Sputtering adalah suatu teknik yang sangat bermanfaat untuk mendepositkan berbagai macam lapisan tipis suatu unsure atau campuran. Dalam penelitian ini dilakukan deposisi lapisan tipis nitride titanium pada permukaan komponen mesin (pin dan ring piston) dengan menggunakan teknik DC sputtering, untuk memperbaiki sifat-sifat mekanik permukaan komponen tersebut. Deposisi dilakukan untuk berbagai variasi parameter proses deposisi yang meliputi suhu substrat dan waktu deposisi. Dari kegiatan penelitian ini dapat diperoleh peningkatan kekerasan dari pin dan ring piston. Dari pengujian kekerasan pada permukaan substrat pin dan ring piston yang dideposisi dengan lapisan nitride titanium masing-masing diperoleh peningkatan sebesar 11,76% dan 98,75%. Fenomena terbentuknya lapisan TiN dan FeN pada permukaan pin dan ring piston dapat diamati dari struktur mikro dan komposisi unsure dengan menggunakan SEM-EDAX. Dari data komposisi unsur menunjukkan bahwa unsure N dan Ti yang terdepositkan pada permukaan pin piston sebesar 5,40% dan 0,66% atom, sedangkan pada permukaan ring piston sebesar

15,73% dan 2,10% atom. Pin dan ring piston masing-masing mengandung unsure Fe sebesar 70.32% dan 76,86% atom. Pada proses sputtering, nitrogen akan bereaksi dengan unsure Fe dan Ti yang menyebabkan terbentuknya fasa keras TiN dan FeN. (Lely Susita R.M, Dkk, 2012).



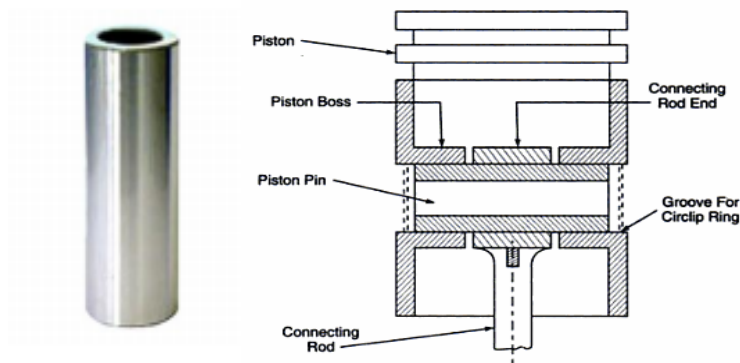
Gambar 2.1 Kerusakan Pin Piston

Dari gambar 2.1 diatas, terlihat bahwa pin piston tersebut terjadi pengikisan atau aus pada permukaan yang disebabkan karena pin yang digunakan tersebut tidak mempunyai kekerasan yang cukup. Kekerasan akan meningkat apabila material dilakukan proses *heat treatment*, semakin tinggi angka kekerasan maka sifat keuletan akan menjadi rendah dan laju keausan juga akan menurun. (Vivek Gopi, R.sellamuthu, Sanjivi arul, 2014). Oleh karena itu material pin piston tersebut perlu proses hardening. Untuk menghilangkan tegangan sisa akibat proses hardening perlu dilakukan proses tempering sehingga sifat material yang getas dapat dihilangkan dan material tersebut menjadi ulet.

2.2 Landasan Teori

2.2.1 Pin Piston

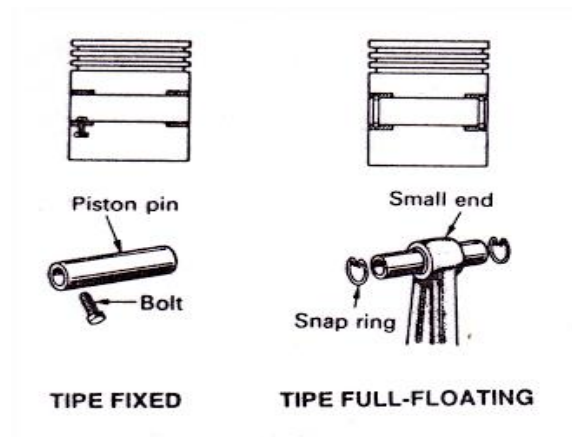
Pin piston merupakan komponen mesin yang berfungsi sebagai pemindah gaya dalam hubungan antara piston dengan *connecting rod* dan *bushing* piston. Bahan dari pin piston biasanya terbuat dari baja paduan. Diameter pin piston dibuat lebih besar dengan tujuan agar bidang geseknya lebih besar dan tahan terhadap keausan, serta bagian dalamnya dibuat lubang agar bobot dari pin piston menjadi lebih kecil sehingga memudahkan untuk Bergeraknya piston.



Gambar 2.2 Konstruksi Piston Dan Pin Piston (*Wikipedia.org*)

Untuk mencegah keluarnya pin piston dari lubangnya, maka penempatan pin piston pada piston ada berbagai macam cara, yaitu :

1. tipe fixed
2. tipe semi floating
3. tipe full floating



Gambar 2.3 Pin Piston (*Wikipedia.org*)

2.2.2 Perlakuan Panas Pada Baja

Sifat mekanik tidak hanya tergantung pada komposisi kimia suatu paduan, tetapi juga tergantung pada struktur mikronya. Suatu paduan dengan komposisi kimia yang sama dapat memiliki struktur mikro yang berbeda, dan sifat mekanik yang berbeda. Struktur mikro tergantung pada proses pengerjaan yang dialami, terutama proses perlakuan panas atau *heat treatment* yang diterima selama proses pengerjaan.

Proses perlakuan panas atau *heat treatment* adalah kombinasi dari operasi pemanasan dan pendinginan dengan kecepatan tertentu yang dilakukan terhadap logam atau paduan dalam kondisi padat, sebagai suatu upaya untuk memperoleh sifat-sifat tertentu. Proses perlakuan panas pada dasarnya terdiri dari beberapa tahapan, dimulai dengan pemanasan sampai ke temperatur tertentu, lalu diikuti dengan penahanan selama beberapa saat, kemudian dilakukan pendinginan dengan kecepatan tertentu.

Secara umum perlakuan panas atau *heat treatment* dapat diklasifikasikan dalam dua jenis berikut ini :

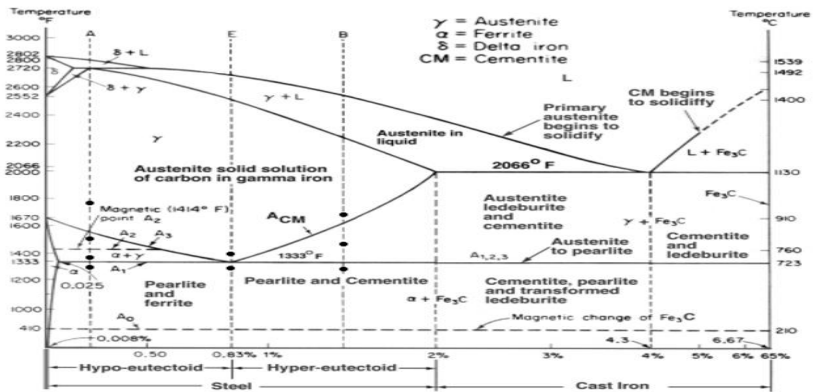
1. *Near equilibrium* (mendekati kesetimbangan)

Tujuan dari perlakuan panas *near equilibrium* adalah untuk melunakkan struktur Kristal, menghaluskan butir, menghilangkan tegangan dalam, memperbaiki *machineability*. Adapapun jenis dari perlakuan panas *near equilibrium* adalah *full annealing* atau yang biasa disebut *annealing*, *stress relief annealing*, *process annealing* dan *spherodizing*.

2. *Non equilibrium* (tidak setimbang)

Tujuan dari perlakuan panas *non equilibrium* adalah untuk mendapatkan kekerasan dan kekuatan yang lebih tinggi. Adapun jenis perlakuan panas *non equilibrium* adalah *hardening*, *martempering*, *austempering* dan *surface hardening* (*carburizing*, *nitriding*, *cyanding*, *flame hardening*, *induction hardening*)

Pada proses pembuatannya, komposisi kimia yang dibutuhkan diperoleh ketika baja dalam bentuk fasa cair pada suhu yang tinggi. Pada saat proses pendinginan dari suhu lelehnya, baja mulai berubah menjadi fasa padat pada suhu 1350°C, pada saat ini akan berlangsung perubahan struktur mikro. Perubahan struktur mikro dapat juga dilakukan dengan proses *heat treatment*. Proses pendinginan dilakukan secara perlahan, maka akan dapat dicapai tiap jenis struktur mikro yang seimbang sesuai dengan komposisi kimia dan suhu baja. Perubahan struktur mikro pada berbagai macam suhu dan kadar karbon dapat dilihat pada diagram fase keseimbangan (*equilibrium phase diagram*) yang ditunjukkan pada gambar 2.3 berikut ini.



Gambar 2.4 Diagram Near Equilibrium Ferrite-Cementid (Fe-Fe $_3\text{C}$)
(Pollack, 1988)

Dari diagram diatas dapat dilihat bahwa pada proses pendinginan, perubahan pada struktur Kristal dan dtruktur mikro sangat bergantung pada komposisi kimia. Pada kandungan karbon mencapai 6.67% terbentuk struktur mikro yang dinamakan sementit Fe $_3\text{C}$ (dapat dilihat pada garis vertical paling kanan), sifat sementit sangat keras dan sangat getas. Pada sisi kiri diagram, dimana pada kandungan karbon yang sangat rendah, pada suhu kamar akan terbentuk struktur mikro ferit. Pada baja dengan karbon 0.83%, struktur mikro yang terbentuk adalah perlit, kondisi suhu dan kadar karbon ini dinamakan titik *eutectoid*. Pada baja dengan kandungan karbon rendah sampai dengan titik *eutectoid*, struktur mikro yang terbentuk adalah campuran antara perlit dan ferit, sedangkan pada baja dengan kandungan 6.67% sampai dengan titik *eutectoid*, struktur mikro yang terbentuk adalah campuran antara perlit dan sementit. Pada

saat pendinginan dari suhu baja dengan kadar karbon rendah, akan terbentuk struktur mikro ferit delta lalu menjadi struktur mikro austenite. Pada baja dengan kadar karbon yang lebih tinggi, suhu leleh menjadi turun dengan meningkatnya kadar karbon, peralihan bentuk langsung dari leleh menjadi austenite.

Berikut adalah Penjelasan struktur mikro, garis-garis dan kandungan karbon.

a. Kandungan karbon

0.08% = batas kelarutan maksimum karbon pada ferrite pada temperatur kamar

0.025% = batas kelarutan maksimum karbon ferrite pada temperatur 723°

b. Derajat celcius

0.83%C = titik eutectoid

2%C = batas kelarutan karbon pada besi gamma pada temperatur 1130°C

4.3%C = titik eutectic

0.1%C = batas kelarutan karbon pada besi delta pada temperatur 1493°C

c. Garis-garis

Garis liquidus adalah garis yang menunjukkan awal dari proses pendinginan (pembekuan)

Garis solidus adalah garis yang menunjukkan akhir dari proses pembekuan

Garis solvus adalah garis yang menunjukkan batas antara fasa padat dengan fasa padat atau solid solution dengan solid solution.

Garis Acm adalah garis kelarutan karbon pada besi gamma (austenite)

Garis A3 adalah garis temperatur dimana terjadi perubahan ferrite menjadi austenite (gamma) pada pemanasan

Garis A1 adalah garis temperatur dimana terjadi perubahan austenite (gamma) menjadi ferrite pada pendinginan

Garis A0 adalah garis temperatur dimana terjadi transformasi magnetic pada cemented

Garis A2 adalah garis temperatur dimana terjadi transformasi magnetic pada ferrite

d. Struktur mikro

Ferrite adalah suatu komposisi logam yang mempunyai batas maksimum kelarutan karbon 0.025%C pada temperatur 723°C, struktur kristalnya BBC (*body center cubic*) dan pada temperatur kamar mempunyai batas kelarutan karbon 0.008%C.

Austenite adalah suatu larutan padat yang mempunyai batas maksimum kelarutan karbon 2%C pada temperatur 1130°C, struktur kristalnya FCC (*face center cubic*).

Cemented adalah suatu senyawa yang terdiri dari unsure Fe dan C dengan perbandingan tertentu dan struktur kristalnya *orthorhombic*.

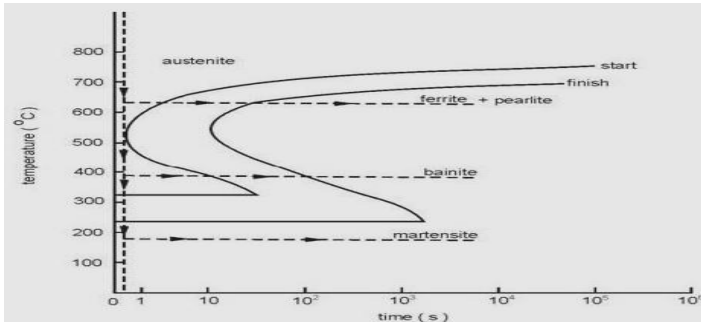
Lediburite adalah campuran eutectic antara besi gamma dengan cemented yang terbentuk pada temperatur 1130°C dengan kandungan karbon 4.3%C.

Perliete adalah campuran eutectoid antara ferrite dengan cemented yang terbentuk pada temperatur 723°C dengan kandungan karbon 0.83%C

2.2.3 Proses *Heat Treatment* Dengan Proses Pendinginan

2.2.3.1 Proses *Heat Treatment* Dengan Pendinginan Tak Menerus

Jika suatu baja didinginkan dari suhu yang lebih tinggi dan kemudian akan ditahan pada suhu yang lebih rendah selama waktu tertentu, maka akan menghasilkan struktur mikro yang berbeda. Hal ini dapat dilihat pada gambar 2.4.

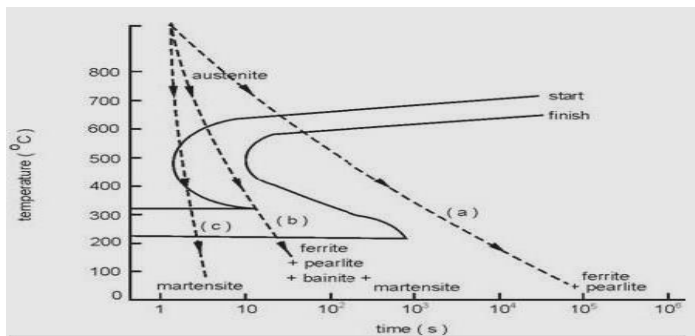


Gambar 2.5 *Isothermal Transformation Diagram.*
(Pollack, 1988)

Bentuk diagram tergantung dengan komposisi kimia, terutama kadar karbon dalam baja. Untuk baja dengan karbon kurang dari 0.83% yang ditahan suhunya dititik tertentu yang letaknya dibagian atas dari kurva C, akan menghasilkan struktur perlit dan ferit. Apabila ditahan suhunya pada titik tertentu bagian bawah kurva C tetapi masih disisi sebelah atas garis horizontal, maka akan mendapatkan struktur mikro bainet (lebih keras dari perlit). Sedangkan, apabila ditahan suhunya pada titik tertentu dibawah garis horizontal, maka akan mendapat struktur martensit (sangat keras dang etas). Semakin tinggi karbon, maka kedua kurva C tersebut akan bergeser kekanan. Ukuran butir sangat dipengaruhi oleh tingginya suhu pemanasan, lamanya pemanasan akan timbul butiran yang lebih besar dan semakin cepat pendinginan akan menghasilkan ukuran butir yang lebih kecil.

2.2.3.2 Proses *Heat Treatment* Dengan Proses Pendinginan Menerus

Proses pendinginan pada pembuatan material baja dilakukan secara menerus mulai dari suhu yang lebih tinggi sampai dengan suhu rendah. Pengaruh kecepatan pendinginan menerus terhadap struktur mikro yang terbentuk dapat dilihat pada gambar 2.5



Gambar 2.6 *Continuous Collingtransformation Diagram.*
(Pollack, 1988)

Pada proses pendinginan secara perlahan seperti pada garis (a) akan menghasilkan struktur mikro pearlite dan ferrite, pada proses pendinginan sedang seperti pada garis (b) akan menghasilkan struktur mikro pearlite dan bainit dan pada proses pendinginan cepat seperti garis (c) akan menghasilkan struktur mikro martensite. Dalam prakteknya ada tiga *heat treatment* dalam pembuatan baja.

1. *Annealing* (pelunakan)

Pemanasan produk setengah jadi pada suhu 850 – 950°C dalam waktu yang tertentu, lalu didinginkan secara perlahan (seperti garis a diagram diatas). Proses ini berlangsung di dapur (furnace). Butiran yang dihasilkan pada umumnya besar atau kasar.

2. *Normalizing*

Pemanasan produk setengah jadi pada suhu 875 – 980°C disusul dengan pendinginan udara terbuka (seperti garis b diagram diatas). Butiran yang dihasilkan umumnya berlangsung bersamaan dengan pelaksanaan penggilingan kondisi panas (*rolling*).

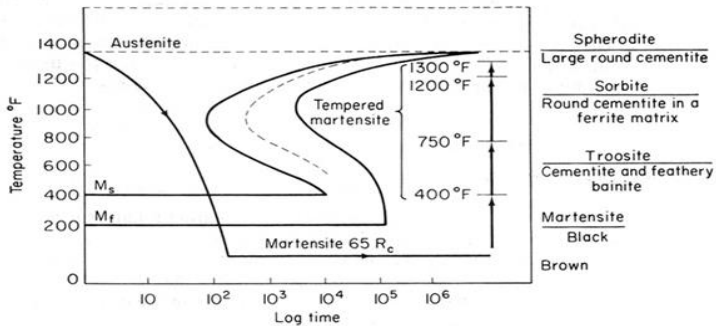
3. *Quenching*

Sistem pendinginan produk baja secara cepat dengan cara penyemprotan air pada produk atau pencelupan serta perendaman produk yang masih panas kedalam media air atau oli. Sistem pendingin ini seperti garis c diagram diatas.

Selain dari ketiga system *heat treatment* diatas, ada juga proses *heat treatment* tahap kedua pada rentang suhu dibawah austenite yang dinamakan *tempering*. Pemanasan produk baja ini biasanya dilakukan untuk produk yang sebelumnya di quenching. Setelah distemper, maka produk tersebut diharapkan akan lebih ulet.

2.3 *Tempering*

Baja merupakan salah satu jenis logam yang banyak digunakan oleh manusia untuk berbagai keperluan. Salah satu kegunaannya adalah digunakan pada pin piston. Adakalanya baja yang akan diproses tidak mempunyai kekerasan yang cukup. Oleh karena itu perlu dilakukan proses hardening. Dengan melakukan hardening maka akan didapatkan sifat kekerasan yang lebih tinggi. Semakin tinggi angka kekerasan maka sifat keuletan akan menjadi rendah dan baja akan menjadi getas. Baja yang demikian tidak cukup baik untuk berbagai pemakaian. Oleh karena itu biasanya atau hampir selalu setelah dilakukan proses pengerasan kemudian segera diikuti dengan *tempering*.



Gambar 2.7 TTT Diagram Baja *Hypoeutectoid* (Pollack, 1988)

Tempering adalah proses dimana baja yang sudah dikeraskan dipanaskan kembali pada temperatur tertentu dan ditahan selama waktu tertentu untuk menghilangkan atau mengurangi tegangan sisa dan mengembalikan sebagian keuletan dan ketangguhannya. Kembalinya sebagian keuletan atau ketangguhan ini didapat dengan mengorbankan sebagian kekuatan dan kekerasan yang telah dicapai pada proses pengerasan. Temperatur *temper* pada *tempering* mempunyai pengaruh yang cukup besar dalam memperoleh kembali keuletan dari baja. Oleh karena itu kita perlu mengetahui dan memahami berapa tinggi temperatur pada *tempering* yang harus dilakukan untuk mendapatkan baja dengan karakteristik dan sifat mekanis tertentu. Proses *tempering* juga merubah struktur mikro dari baja. Dengan berubahnya struktur mikro maka sifat mekanis pada baja juga akan mengalami perubahan. (Wilyanto Anggono, Dkk, 2008)

Baja yang telah dikeraskan bersifat rapuh dan tidak cocok untuk digunakan. Melalui proses *tempering*, kekerasan dan kerapuhan dapat diturunkan samapi memenuhi persyaratan penggunaan. Kekerasan turun, kekuatan tarik akan turun pula, sedangkan keuletan dan ketangguhan baja akan meningkat.

Temper sebagai suatu proses dapat dijadwalkan secara terpisah dalam produksi. Begitu terbentuk, martensit yang menstabil ini dapat bertahan terus pada suhu ruang untuk waktu yang tak terhingga. Namun demikian, martensit hanya dapat terbentuk dari austenite yang di *quench*. Oleh karena itu, *quench* harus dilakukan sebelum *temper*. Proses *temper* yaitu pemanasan kembali dari baja yang telah dikeraskan pada suhu di bawah suhu kritis, disusul dengan pendinginan. Prosesnya adalah memanaskan kembali berkisar antara suhu 150 – 650°C dan didinginkan secara perlahan-lahan tergantung sifat akhir baja tersebut. Meskipun proses ini menghasilkan baja yang lebih lunak, proses ini berbeda dengan proses anil karena disini sifat – sifat fisis dapat dikendalikan dengan cermat. Struktur akhir hasil temper baja yang dikeraskan disebut martensit temper yang bersifat keras sekaligus tangguh.

2.4 Klasifikasi Baja

Besi dan baja merupakan logam yang banyak digunakan dalam paduan diantara unsur-unsur lain seperti: karbon, mangan, silikon, fosfor, belerang dan lain-lain. Besi dan baja dibedakan menurut kadar karbonnya, baja mempunyai kadar karbonnya lebih kecil dari 1.7 %, sedangkan besi mempunyai kadar karbonnya lebih besar dari 1.7 %.(Fuad abdillah, 2013). Baja mempunyai unsur-unsur lain sebagai pepadu yang dapat mempengaruhi sifat dari baja. Penambahan unsur- unsur dalam baja karbon dengan satu unsur atau lebih, tergantung pada karakteristik baja karbon yang akan dibuat. Sementara untuk memperoleh sifat tertentu pada baja dimasukan campuran unsur-unsur antara lain : mangan, silikon, vanadium, chrom, molybdenum dan cobalt serta unsur - unsur lainnya yang merupakan campuran yang sulit dihilangkan ketika proses pembuatan baja terjadi. Secara umum dapat disebutkan beberapa sifat baja antara lain: kekerasan, kekuatan, ketangguhan, dan keuletan. Sifat-sifat baja yang digunakan dapat diatur sesuai dengan komposisi yang diberikan terutama kadar karbonnya.

Sementara berdasarkan jumlah karbon yang terkandung dalam baja, maka baja dibedakan menjadi :

1. baja karbon rendah
2. baja karbon menengah dan
3. baja karbon tinggi

2.4.1 Baja Karbon Rendah

Baja karbon rendah (*low carbon steel*) mengandung karbon antara 0,025% - 0,25%. Setiap satu ton baja karbon rendah mengandung 10 -30 kg karbon. Baja karbon ini dalam perdagangan dibuat dalam plat baja, baja strip dan baja batangan atau profil.

Berdasarkan jumlah karbon yang terkandung dalam baja, maka baja karbon rendah dapat digunakan atau dijadikan baja-baja sebagai berikut :

1. Baja karbon rendah (*low carbon steel*) yang mengandung 0,04% - 0,10%C. untuk dijadikan baja-baja plat atau strip.
2. Baja karbon rendah yang mengandung 0,05%C digunakan untuk badan-badan kendaraan.
3. Baja karbon rendah yang mengandung 0,15% - 0,20% C digunakan untuk konstruksi jembatan, bangunan, membuat baut atau dijadikan baja konstruksi.

2.4.2 Baja karbon Menengah

Baja karbon menengah (*medium carbon steel*), mengandung karbon antara 0,25% - 0,55% C dan setiap satu ton baja karbon mengandung karbon antara 30 – 60 kg. baja karbon menengah ini banyak digunakan untuk keperluan alat-alat perkakas bagian mesin. Berdasarkan jumlah karbon yang terkandung dalam baja, maka baja karbon ini dapat digunakan untuk berbagai keperluan seperti untuk keperluan industry kendaraan, roda gigi dan pegas.

2.4.3 Baja Karbon Tinggi

Baja karbon tinggi (*high carbon steel*) mengandung kadar karbon antara 0,56% - 1,7% C dan setiap satu ton baja karbon tinggi mengandung karbon antara 70 – 130 kg.

Baja ini mempunyai tegangan tarik paling tinggi dan banyak digunakan untuk material tools. Salah satu aplikasi dari baja ini adalah dalam pembuatan kawat baja dan kabel baja. Berdasarkan jumlah karbon yang terkandung didalam baja, maka baja karbon ini banyak digunakan dalam pembuatan pegas, alat-alat perkakas seperti : palu, gergaji atau pahat potong. Selain itu baja jenis ini banyak digunakan untuk keperluan industry lain seperti pembuatan kikir, pisau cukur, mata gergaji dan lain sebagainya.

2.5 Baja Paduan Rendah (*Low Alloy Steel*)

Baja paduan rendah adalah salah satu klasifikasi dari baja paduan (*alloy steel*) yaitu : *low alloy steel*, *medium alloy* dan *high alloy steel*. Klasifikasi ini dibedakan menurut unsure paduannya. Baja paduan rendah (*low alloy steel*) tergolong jenis baja karbon yang memiliki tambahan unsure paduan seperti nickel, chromium, dan molybdenum. Total unsure paduannya mencapai 2,07% - 2,5%.

Untuk kebanyakan baja paduan rendah (*low alloy steel*), fungsi utama dari elemen paduannya adalah untuk menambah kekerasan yang diinginkan untuk meningkatkan kemampuan mekanik dan keuletannya setelah dilakukan proses perlakuan panas. Dibeberapa kasus, bagaimanapun juga, tambahan unsure paduan digunakan untuk mengurangi efek degradasi karena lingkungan terhadap kondisi pemakaian.

Baja paduan rendah (*low alloy steel*) dapat diklasifikasikan :

1. Menurut komposisi kimia, seperti : *nickel steel*, *nickel-chromium steels*, *molybdenum steels*, *chromium-molybdenum steels*.

2. Menurut proses perlakuan panas, seperti : *quenched and tempered* (QT), *normalized and tempered* (NT), *annealed* (A) dan sebagainya.

Dimana Baja AISI 4140 adalah termasuk baja *low alloy steel* yang termasuk dalam klasifikasi menurut komposisi kimianya, yaitu *chromium-molybdenum steels*.

2.5.1 Baja Chromium – Molybdenum (*Chromium – Molybdenum Steel*)

Chromium-molybdenum steels merupakan salah satu bagian dari baja paduan rendah. Baja ini memiliki kekuatan machinery tinggi. (Pollack, H.W, 1988). Cocok untuk pengerasan induksi dan api (*flame*) serta bisa di *nitriding* atau *tuffriding* ke kekerasan 600-650 vickers. Penggolongan baja paduan rendah (*low alloy steels*) menurut komposisi kimia dapat dilihat dari table 2.1 berikut :

CHROMIUM STEELS	
AISI (SAE)	Chromium
50XX	0.27, 0.40, 0.50 dan 0.65%

CHROMIUM MOLYBDENUM STEEL		
AISI (SAE)	Chromium	Molybdenum
41XX	0.05, 0.80 dan 0.95%	0.12, 0.20, 0.25, dan 0.30%
511XX		1.02%
521XX		1.45%

CHROMIUM VANADIUM STEEL		
AISI (SAE)	Chromium	Vanadium
61XX	0.60, 0.80 dan 0.95%	0.10 dan 0.15% (min)

MOLYBDENUM STEEL	
AISI (SAE)	Molybdenum
40XX	0.20 dan 0.25%
45XX	0.40 dan 0.52%

Element	Weight %
C	0.38 – 0.43
Mn	0.75 – 1.00
P	0.035 (max)
S	0.040 (max)
Si	0.15 – 0.30

Table 2.1 Klasifikasi *Alloy Steel* Berdasar Komposisi Kimia
(*JIS Standard handbook for Ferrous Material, 1969*)

2.5.2 Baja AISI 4140

Baja AISI 4140 merupakan salah satu *low alloy steel* yang dikategorikan lagi pada komposisi kimianya, yaitu *chromium molybdenum steel*. Aplikasinya antara lain digunakan sebagai *shaft, gears, bolts, couplings, spindles, tool holders, sprocket, hydraulic machinery shafts, oil industry drill collars, Kelly bars, tools joint, piston pin* dan lain sebagainya. Aplikasi-aplikasi tersebut biasanya digunakan pada beban-beban yang cukup besar. Oleh karena itu baja ini harus memiliki kekerasan yang diinginkan, ketangguhan terhadap tekanan, dan abrasi.

Adapun tabel komposisi kimia dan sifat fisik maupun mekanik dari baja AISI 4140 dapat dilihat pada 2.2 dan 2.3.

Element	Wieght %
Carbon	0.38 – 0.43
Manganese	0.75 – 1.00
Silicon	0.15 – 0.30
Chromium	0.80 – 1.10
Molybdenum	0.15 – 0.25
Fosfor	0.035 (max)
Sulphur	0.04 (min)
Iron	Balance

Tabel 2.2 Komposisi Kimia baja 4140 Standar AISI
(*JIS Standard handbook for Ferrous Material, 1969*)

AISI type	UNS	Density ($\sigma/\text{kg.m}^{-3}$)	Yield strength 0.2% proof (σ_p/MPa) ¹	Ultimate tensile strength (σ_{UTS}/MPa)	Elongation (Z%) ⁴	Brinell hardness (HB)	Izod impact strength (J) ⁷	Coeff. linear thermal exp. ($\alpha/10^{-6} \text{K}^{-1}$)	Thermal conductivity ($k/\text{W.m}^{-1} \text{K}^{-1}$)	Specific heat capacity ($c_p/\text{J.kg}^{-1} \text{K}^{-1}$) (50–100°C)	Electrical resistivity ($\rho/\mu\Omega \text{ cm}$)
4023	G40230	7750	586	827	20	255		11.7	n.a.	n.a.	n.a.
4042	G40420	7750	1448	1620	10	461		11.9	n.a.	n.a.	n.a.
4053	G40530	7750	1538	1724	12	495		n.a.	n.a.	n.a.	n.a.
4063	G40630	7750	1593	1855	8	534		n.a.	n.a.	n.a.	n.a.
4130	G41300	7750	360–1172	560–1379	16–28	156–375	62–87	12.2	42.7	477	22.3
4140	G41400	7750	1172	1379	15	385		12.3	42.7	475	22.0
4150	G41500	7750	1482	1586	10	444		11.7	41.8	n.a.	n.a.
4320	G43200	7750	1062	1241	15	360		11.3	n.a.	n.a.	n.a.
4337	G43370	7750	965	1448	14	435		11.3	n.a.	n.a.	n.a.
4340	G43400	7750	475–1379	745–1512	12–22	217–445	16–52	12.3	n.a.	n.a.	n.a.
4615	G46150	7750	517	689	18	n.a.		11.5	n.a.	n.a.	n.a.

Tabel 2.3 Sifat Fisik Dan Mekanik Baja AISI 4140
(*JIS Standard handbook for Ferrous Material, 1969*)

2.6 Pengujian Kekerasan

2.6.1 Pengujian *Brinell*

Metoda uji kekerasan yang dilakukan oleh J.A Brinell pada tahun 1900 ini merupakan uji kekerasan lekukan yang pertamakali banyak digunakan dan di susun pembakuannya. Uji kekerasan ini berupa pembentukan lekukan pada permukaan logam menggunakan indentor. Indentor untuk brinell berbentuk bola dengan diameter 10 mm, 5 mm, 2.5 mm dan 1 mm, itu semua adalah diameter bola standar internasional.(*Anonim, 2013*)

Bola brinell yang standar internasional tersebut terdapat 2 bahan pembuatannya. Ada yang terbuat dari baja yang dikeraskan atau dilapisi dengan *chrome*, dan ada juga yang terbuat dari *tungsten carbide*. *Tungsten carbide* bersifat lebih keras dari baja, jadi *tungsten carbide* biasanya dipakai untuk pengujian benda keras yang dikhawatirkan akan merusak bola baja. Namun untuk pengujian bahan yang tingkat kekerasannya belum diketahui, biasanya terlebih dahulu diuji menggunakan metoda *Rockwell c*, dengan menggunakan indentor kerucut intan.

Berikut metoda pengujian brinell :

- a. Persiapkan alat uji dan bahan pengujian
 1. Mesin uji kekerasan brinell (*brinell hardness test*)
 2. Indentor bola (bola baja atau bola carbide)
 3. Benda uji yang sudah di gerinda di amplas halus
 4. Stop watch
 5. Mikroskop pengukur
- b. Indentor di tekankan ke benda uji
- c. Tunggu hingga 10 – 30 detik
- d. Bebaskan gaya dan lepaskan indentor dari benda uji
- e. Ukur diameter lekukan yang terjadi menggunakan mikroskop pengukur
- f. Masukkan data – data tersebut ke rumus.

Adapun rumus perhitungan pengujian *brinell* dapat dilihat pada 2.1

$$BHN = \frac{2P}{\pi \cdot D (D - \sqrt{D^2 - d^2})} \dots\dots\dots(2.1)$$

Keterangan :

BHN = *brinell hardness number*

P = beban yang diberikan (kgf)

D = diameter indenter (mm)

d = diameter lekukan rata-rata hasil indentasi

pada 2.2 adalah rumus yang digunakan untuk mencari beban yang sesuai.

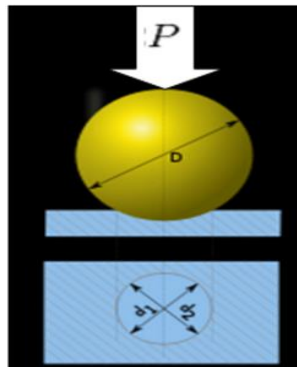
$$P = C \times D^2 \dots\dots\dots(2.2)$$

Keterangan :

P = beban yang diberikan

C = konstanta bahan yang akan di uji

D = diameter indenter

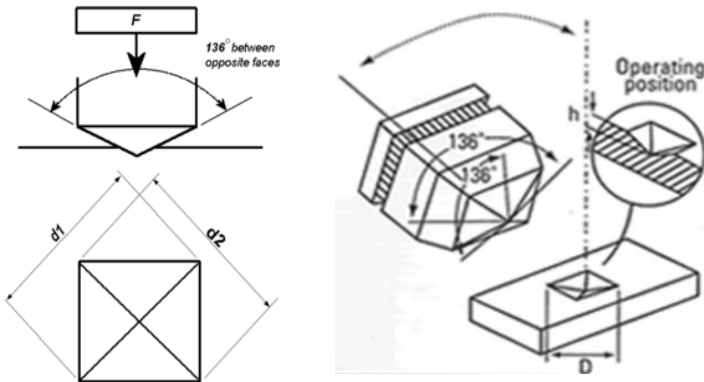


Gambar 2.8 Perhitungan Pengujian *Brinell*
(*Wikipedia.org*)

2.6.2 Pengujian *Vickers*

Pengujian *Vickers* dikembangkan di Inggris pada tahun 1925. Dikenal sebagai *diamond pyramid hardness test (DPH)*. Uji kekerasan *Vickers* menggunakan indenter piramida intan, besar sudut antara permukaan piramida intan yang saling berhadapan

adalah 136° . ada dua rentang kekuatan yang berbeda, yaitu *micro* (10g – 1000g) dan *macro* (1kg – 100kg). (Anonim, 2013)



Gambar 2.9 Indentor Uji *Vickers* (Wikipedia.org)

Berikut metoda pengujian vickers :

1. Persiapkan alat uji dan bahan pengujian
2. Mesin uji kekerasan Vickers (*Vickers hardness test*)
3. Indentor piramida intan (*diamond pyramid*)
4. Benda uji yang sudah di gerinda di amplas halus
5. Stop watch
6. Mikroskop pengukur
7. Indentor di tekankan ke benda uji
8. Tunggu hingga 10 – 20 detik
9. Bebaskan gaya dan lepaskan indentor dari benda uji
10. Ukur 2 diagonal lekukan persegi yang terjadi menggunakan mikroskop pengukur
11. Masukkan data – data tersebut ke rumus

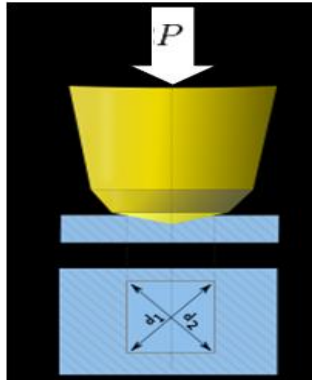
Adapun rumus perhitungan pengujian *vickers* dapat dilihat pada 2.3

$$VHN = \frac{1,854 \times P}{d^2} \dots\dots\dots(2.3)$$

Keterangan :

VHN = *Vickers Hardness Number*

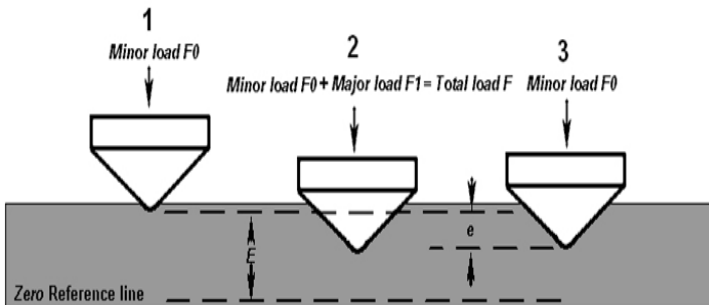
P = Beban yang diberikan(kgf)
 d = Panjang diagonal rata-rata hasil



Gambar 2.10 Perhitungan Pengujian *Vickers*
 (Wikipedia.org)

2.6.3 Pengujian *Rockwell*

Pengujian rockwell menggunakan indenter bola baja diameter standar (diameter 10 mm, 5 mm, 2.5 mm dan diameter 1 mm) dan indenter kerucut intan. pengujian ini tidak membutuhkan kemampuan khusus karena hasil pengukuran dapat terbaca langsung. tidak seperti metoda pengujian Brinell dan Vickers yang harus dihitung menggunakan rumus terlebih dahulu. Pengujian ini menggunakan 2 beban, yaitu beban minor/minor load (F_0) = 10 kgf dan beban mayor/mayor load (F_1) = 60 kgf sampai dengan 150 kgf tergantung material yang akan di uji dan tergantung menu rockwell yang dipilih (ada HRC, HRB, HRG, HRD, dll). Untuk menguji material yang kekerasannya sama sekali belum diketahui kita harus menggunakan rockwell HRC. HRC menggunakan indenter kerucut intan dan beban 150 kgf. Hal ini dimaksudkan untuk mencegah rusaknya indenter karena kalah keras dibandingkan material yang di uji. (Ika Wahyuni, Dkk, 2013)



Gambar 2.11 Indentor Pengujian *Rockwell* (Wikipedia.org)

Beban minor sebesar 10 kgf diberikan dengan tujuan untuk menyamaratakan semua permukaan benda uji. Dengan adanya sedikit penekanan tersebut membuat material yang akan di uji tidak perlu dipersiapkan sehalus dan semengkilap mungkin, cukup bersih dan tidak berkarat. Perbedaan kedalaman hasil indentasi berdampak pada tingkat kekerasan material. semakin dalam indentasi semakin lunak material yang kita uji.

Adapun rumus perhitungan *Rockwell* dapat dilihat pada 2.4 dan 2.5

$$h_2 - h_0 = (130 - TH) \cdot 0,02 \dots \dots \dots (2.4)$$

atau

$$HR = E - e \dots \dots \dots (2.5)$$

Keterangan :

- FO = beban minor (minor load) (kgf)
- F1 = beban mayor (major load) (kgf)
- F = total beban (kgf)
- E = jarak antara indentor saat diberi beban minor dan zero reference line yang untuk tiap jenis indentor berbeda-beda yang bisa dilihat pada tabel 3.1 diatas.
- e = jarak antara kondisi 1 dan kondisi 3 dibagi 0.02 mm
- HR = nilai kekerasan dengan metode hardness

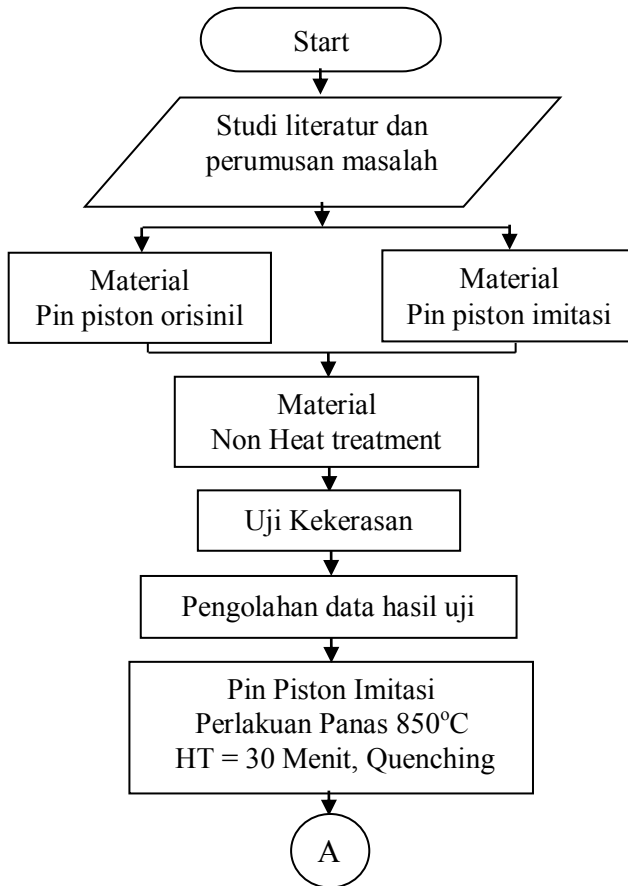
Kekerasan Rockwell dapat dibagi menjadi beberapa jenis antara lain :

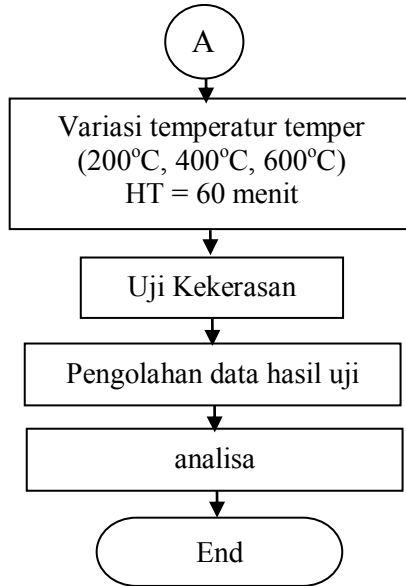
1. Rockwell A
Indenter berupa kerucut intan dengan pembebanan 60 kg. umumnya digunakan pada jenis logam yang sangat keras.
2. Rockwell B
Indenter berupa bola baja dengan diameter 1.6 mm dan pembebanan 100 kg. umumnya digunakan pada material yang lunak.
3. Rockwell C
Indenter berupa kerucut intan dengan pembebanan 150 kg. umumnya digunakan untuk logam-logam yang diperkeras dengan pemanasan.

BAB III

METODOLOGI PERCOBAAN

3.1 Diagram Alir Penelitian





Gambar 3.1 *Flowchart* Penelitian

3.2 Langkah-langkah Penelitian

adapun langkah-langkah dalam penelitian yang akan dilakukan adalah sebagai berikut:

- a. Studi literature dan perumusan masalah
- b. Persiapan material pin piston orisinil dan imitasi.
- c. Pengujian komposisi kimia *pin* piston orisinil dan imitasi.
- d. Melakukan *heat treatment* material imitasi pada temperatur 850°C ditahan selama 30 menit, kemudian didinginkan cepat dengan media air.
- e. Melakukan *temper* dengan suhu bervariasi dan *holding time* selama 60 menit
- f. Melakukan pengujian kekerasan
- g. Pembuatan grafik dan analisa hasil penelitian
- h. Kesimpulan, saran dan rekomendasi

3.2.1 Perumusan Masalah

Langkah awal didalam melakukan penelitian ini adalah merumuskan permasalahan yang ada, kemudian mencari ide serta solusi yang tepat atas permasalahan yang ada. Setelah itu mulai mengkaji studi literatur dan studi pustaka terkait teori-teori yang berkaitan dengan penelitian yang akan dilakukan.

3.2.2 Persiapan Spesimen

Spesimen yang digunakan dalam penelitian ini adalah *pin* piston orisinil dan imitasi Yamaha Jupiter z dan masing-masing akan dicari spesifikasinya.

3.2.3 Proses *Heat Treatment* Dan *Temper*

Pada tahap ini akan dilakukan pemanasan material imitasi dengan metoda austempering disempurnakan dengan temperature austenisasi 850 °C ditahan selama 30 menit, kemudian pendinginan cepat dalam media air dan melakukan temperatur *tempering furnace* pada suhu 200 °C, 400 °C, 600 °C *hoding time* selama 60 menit dilanjutkan dengan pendinginan udara. Proses merupakan tahapan yang penting karena akan dilakukan penelitian yang nantinya akan digunakan sebagai bahan pembahasan serta analisa.

3.2.4 Pengujian Kekerasan *Pin* Piston Imitasi

Tahap ini merupakan langkah awal dalam melakukan pengambilan data kekerasan *pin* piston imitasi yang telah dilakukan proses *heat treatment* dan *temper*. Pengujian kekerasan *Rockwell* ini dilakukan untuk mengetahui pengaruh perlakuan panas serta variasi pendinginan terhadap nilai kekerasan dari spesimen asli yang diuji. Prinsip pengujian *rockwell* adalah permukaan spesimen ditekan dengan penetrator bola baja berdiameter, beban serta waktu pembebanan tertentu.

3.2.5 Pembuatan Grafik Dan Analisa Hasil Penelitian

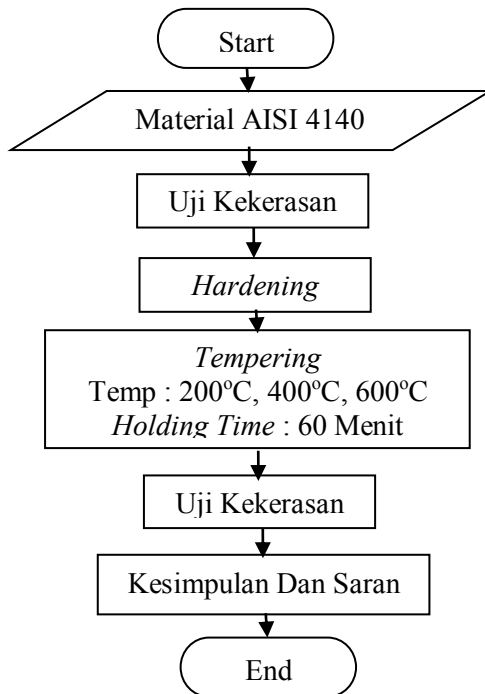
Dari data penelitian yang telah dilakukan selanjutnya akan dilakukan pembuatan grafik dan dilakukan analisa

pembahasan dari grafik tersebut. Grafik akan dikaji dan dijelaskan dengan menggunakan teori-teori yang ada.

3.2.6 Kesimpulan, Saran Dan Rekomendasi

Menyimpulkan dari keseluruhan penelitian yang telah dilakukan, kemudian memberikan saran serta rekomendasi.

Selain diagram alir, untuk memperjelas dan meringkas alur penelitian juga akan disajikan *flowchart* pengujian. Adapun *flowchart* pengujian dapat dilihat pada gambar 3.2.



Gambar 3.2 *Flowchart* Pengujian

3.3. Pemilihan Material Benda Uji

Pada penelitian ini akan dipilih benda uji dengan baja paduan chromium molybdenum (chromium-molybdenum alloy steels) tipe 4140 atau disebut baja paduan SCM 4 standar JIS (Japan Industrial Standard). Bahan ini merupakan baja karbon rendah dengan paduan Chromium (Cr) dan kadar karbon (C) rendah.

Pin piston orisinil dan imitasi akan di uji komposisi kima untuk menentukan apakah pin tersebut termasuk baja paduan chromium molybdenum atau bukan, kemudian akan dibuat tabel pembandingan komposisi kima masing-masing pin piston.

3.4 Persiapan Material Benda Uji

Mempersiapkan spesimen bahan uji dari penelitian. Spesimen uji berupa *pin* piston orisinil dan imitasi Yamaha Jupiter z didapatkan dari pasar otomotif yang menjual *spare part* kendaraan bermotor. Kemudian benda uji akan dikelompokkan sesuai dengan proses perlakuan yang akan dilakukan, seperti pada tabel 3.1.

	Jumlah	Uji kekerasan	Hardening 850°C	Tempering 200°C	Tempering 400°C	Tempering 600°C
Pin orisinil	1	1	-	-	-	-
Pin imitasi	4	4	3	1	1	1

Tabel 3.1 Jumlah Benda Uji

3.5 Proses *Hardening*

Setelah melakukan persiapan benda uji maka langkah selanjutnya dilakukan proses *hardening*, proses ini bertujuan untuk meningkatkan kekerasan dan ketangguhan.

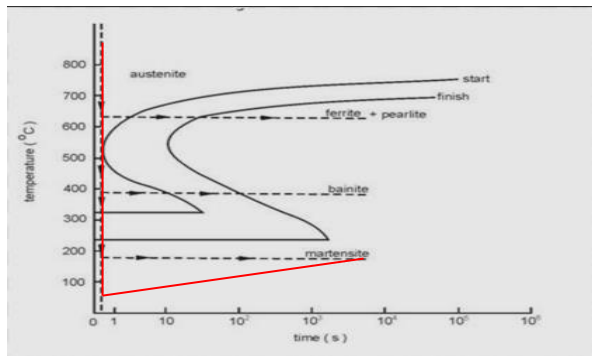
3.5.1 Proses *Heat Treatment*

Pada proses awal ini semua spesimen baja dimasukkan ke dalam dapur pemanas untuk kemudian dilakukan proses *austenisasi*, yaitu memanaskan baja mencapai suhu 850°C dengan waktu tahan (*holding time*) selama 30 menit, setelah itu spesimen dikeluarkan dari dapur pemanas untuk kemudian dilakukan proses pendinginan.

3.5.2 Proses *Quenching*

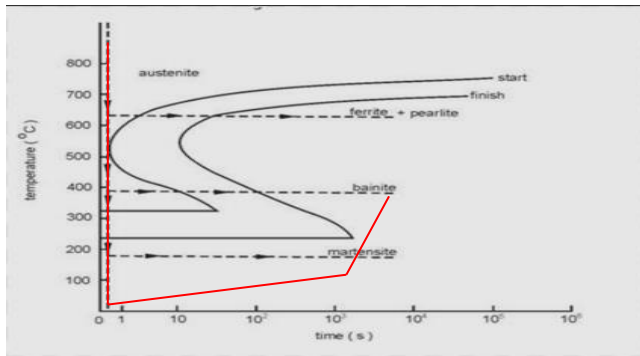
Proses *quenching* adalah proses pendinginan yang dilakukan setelah proses *heat treatment*. Proses ini bertujuan untuk meningkatkan kekerasan spesimen uji. Dalam penelitian ini, proses pendinginan yang dilakukan adalah proses pendinginan secara cepat dengan media pendingin berupa air.

3.5.3 Proses Tempering 200°C



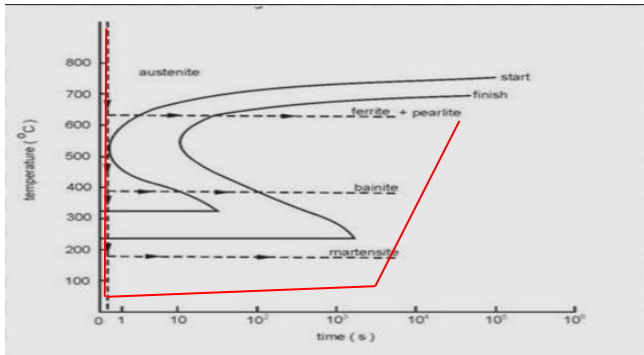
Gambar 3.3 Proses Tempering 200°C

3.5.4 Proses *Tempering* 400°C



Gambar 3.4 Proses *Tempering* 400°C

3.5.5 Proses *Tempering* 600°C



Gambar 3.5 Proses *Tempering* 600°C

3.6 Pengujian Sifat Mekanis

Setelah selesai proses perlakuan panas atau *heat treatment* terhadap benda uji, langkah selanjutnya adalah meneliti sifat mekanis.

3.6.1 Pengujian Kekerasan

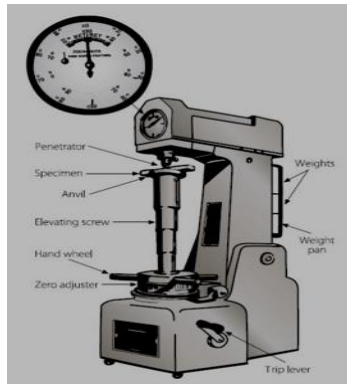
Kekerasan merupakan ketahanan suatu material terhadap penetrasi material lain atau dapat juga dikatakan ketahanan terhadap deformasi, dan untuk logam dengan sifat tersebut merupakan ketahanannya terhadap deformasi plastis atau deformasi permanen. Uji kekerasan dilakukan dengan menekan indenter ke permukaan logam yang diukur kekerasannya. Indenter biasanya terbuat dari material yang lebih keras dari pada benda uji, contohnya hardened steel, tungsten carbide atau intan. Biasanya indenter berbentuk bola, pyramid atau kerucut.

Uji kekerasan standar dilakukan dengan menekan indenter dengan hati-hati ke permukaan benda uji secara tegak lurus 90° . setelah proses pengindentasian, indenter ditarik dari benda uji dan nilai kekerasan akan terhitung atau terbaca dari skala, berdasarkan kedalaman bekas penekanan dan diameter lekukan.

Kekerasan juga dapat didefinisikan sebagai :

- Ketahanan terhadap indentasi permanen dibawah beban statis atau dinamis
- Energy yang diserap dibawah beban impak
- Ketahanan terhadap goresan
- Kekerasan terhadap aus
- Kekerasan terhadap pemotongan (*cutting*) atau drill (*drilling*)





Gambar 3.6 *Rockwell Hardness Tester*

3.6.2 Metode *Rockwell*

Dalam metode ini penetrator ditekan dalam benda uji. Harga kekerasan didapat dari perbedaan kedalaman dari beban mayor dan minor.

Beban minor adalah beban pertama yang diberikan indenter kepada spesimen pada saat mencapai permukaan spesimen juga berfungsi sebagai landasan untuk beban mayor. Sedangkan beban mayor adalah beban yang diberikan pada benda uji sampai mencapai kedalaman tertentu pada spesimen dari indenter. Jadi nilai kekerasan didasarkan pada kedalaman bekas penekanan.

Metode ini sangat cepat dan cocok untuk pengujian masal. Karena hasilnya dapat secara langsung dibaca pada jarum penunjuk, maka metode ini sangat efektif untuk pengetesan masal.

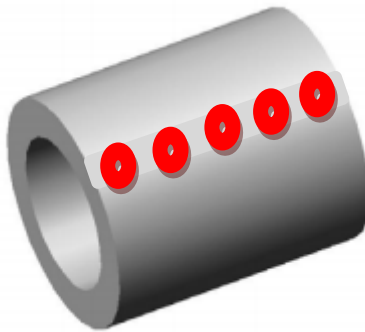
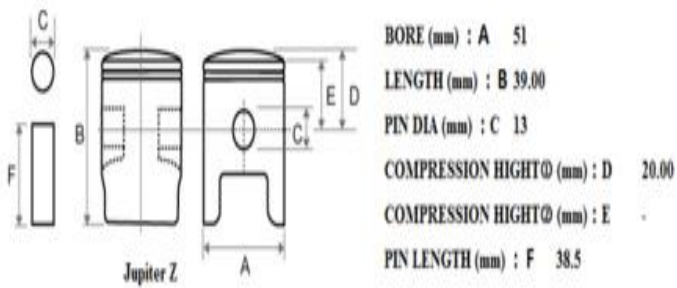
Uji kekerasan ini banyak digunakan disebabkan oleh sifat-sifatnya yang cepat dalam pengerjaannya, ukuran penekan relative kecil, sehingga bagian yang mendapatkan perlakuan panas dapat diuji kekerasannya tanpa menimbulkan kerusakan. Uji ini menggunakan kedalaman lekukan pada beban yang konstan sebagai ukuran kekerasan.

Mula-mula diberikan beban kecil sebesar 10 kgf untuk menempatkan benda uji. Hal ini untuk memperkecil kecenderungan terjadinya penumbukan keatas atau penurunan yang disebabkan oleh indenter. Kemudian diberikan beban yang besar sebagai beban utama, secara otomatis kedalaman bekas penekanan akan terekam pada *gauge* penunjuk yang menyatakan angka kekerasannya.

Pengujian kekerasan Rockwell didasarkan pada kedalaman masuknya penekan benda uji, makin keras benda yang akan diuji maka makin dangkal masuknya penekan tersebut. Sebaliknya apabila semakin dalam masuknya penekan tersebut berarti benda uji makin lunak. Metode Rockwell sangat mudah dan cepat mengetahui harga kekerasan suatu material tanpa menghitung seperti metode brinell dan Vickers.

Skala	Beban Mayor (kg)	Tipe Indentor	Tipe Material Uji
A	60	Intan Kerucut	Sangat Keras, Tungsten, Karbida
B	100	1/16" Bola Baja	Kekerasan Sedang, Baja Karbon Rendah Dan Sedang, Kuningan, Perunggu
C	150	Intan Kerucut	Baja Keras, Paduan Yang Dikeraskan, Baja Hasil Tempering

Tabel 3.2 Skala Kekerasan *Rockwell*



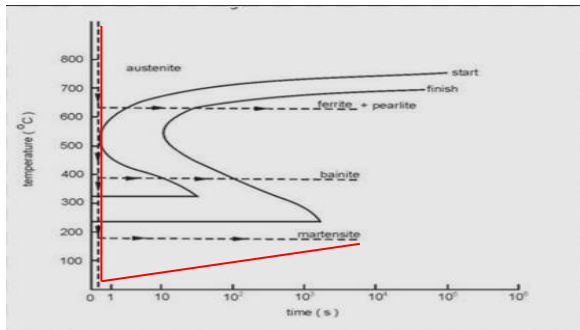
Gambar 3.7 Dimensi ukuran dan titik Pengujian Kekerasan

BAB IV ANALISA DAN PEMBAHASAN

Pada bab ini akan dibahas dan dianalisa hasil eksperimen proses *tempering* dan kekerasan pin piston sepeda motor.

4.1 Proses *Tempering* 200°C

Pada proses dengan suhu *tempering* 200°C dengan waktu penahanan atau *holding time* selama 60 menit.

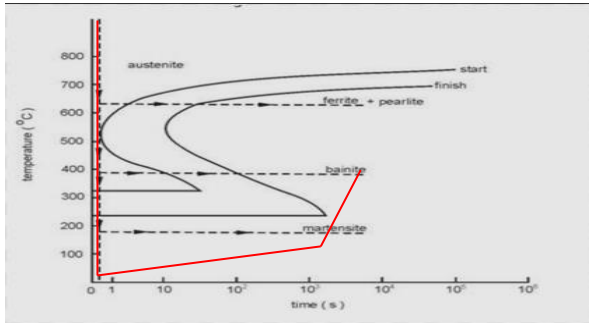


Gambar 4.1 proses *tempering* 200°C

Diagram proses *tempering* yang ditunjukkan pada gambar 4.1, dengan asumsi garis berwarna merah adalah struktur yang terjadi setelah dilakukan proses tempering 200°C. Struktur yang terjadi yaitu martensit yang bersifat keras dan rapuh berpartisipasi menjadi martensit temper, pada proses ini struktur perlit lebih mendominasi dibandingkan struktur ferit.

4.2 Proses *Tempering* 400°C

Pada proses dengan suhu *tempering* 400°C dengan waktu penahanan atau *holding time* selama 60 menit.

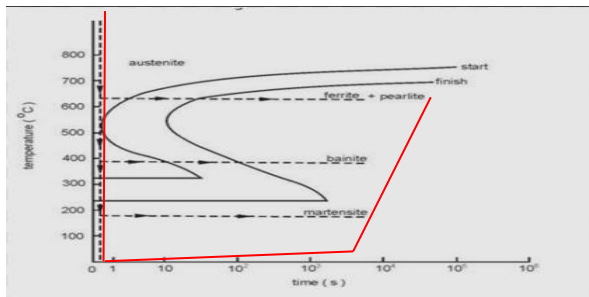


Gmbar 4.2 Proses *tempering* 400°C

Diagram proses *tempering* yang ditunjukkan pada gambar 4.2, dengan asumsi garis berwarna merah adalah struktur yang terjadi setelah dilakukan proses tempering 400°C. Struktur yang terjadi yaitu perlit dan ferit lebih merata. Sedangkan martensit berkurang sedikit dibandingkan proses tempering 200°C.

4.3 Proses *Tempering* 600°C

Pada proses dengan suhu *tempering* 600°C dengan waktu penahanan atau *holding time* selama 60 menit



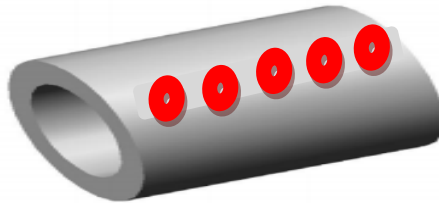
Gambar 4.3 Proses *tempering* 600°C

Diagram proses *tempering* yang ditunjukkan pada gambar 4.3, dengan asumsi garis berwarna merah adalah struktur

yang terjadi setelah dilakukan proses *tempering* 600°C. Struktur yang terjadi yaitu perlit dan ferit lebih merata dan mendominasi. Sedangkan martensit lebih sedikit dibandingkan proses *tempering* 200°C, dikarenakan suhu pemanasan yang lebih tinggi.

4.4 Pengujian Kekerasan Rockwell pada Permukaan Spesimen

Pengujian kekerasan Rockwell pada permukaan diambil dari material yang sudah dilakukan proses *tempering* dengan pengambilan titik kekerasan yang sudah ditentukan dan tiap-tiap spesimen diambil lima titik pengujian, gambar dan ukuran spesimen terdapat pada gambar 4.4:



Gambar 4.4 Lokasi pengujian Rockwell pada permukaan spesimen

4.4.1 Data Hasil Pengujian Kekerasan Rockwell pada Permukaan Spesimen

Pada pengujian Rockwell, digunakan pembebanan 150 Kgf dengan waktu penahanan 60 detik dan menggunakan intan sudut 120° untuk spesimen pin piston *original* maupun pin piston *non original*.

Table 4.1 Hasil pengujian kekerasan permukaan pada spesimen pin piston *original* dan spesimen pin piston *non original*

Spesimen	Titik Pengujian				
<i>Original</i> (28°C)	1	2	3	4	5
	55	55	55	55	54

Rerata HRC Pin <i>Original</i>	55
---	-----------

Spesimen	Titik Pengujian				
Non <i>Original</i> (28°C)	1	2	3	4	5
	53	54	54	54	54
Rerata HRC Pin <i>Original</i>	54				

Spesimen	Titik Pengujian				
Non <i>Original</i> (200°C)	1	2	3	4	5
	58	57	58	58	58
Rerata HRC Pin <i>Original</i>	58				

Spesimen	Titik Pengujian				
Non <i>Original</i> (400°C)	1	2	3	4	5
	54	55	55	55	54
Rerata HRC Pin <i>Original</i>	55				

Spesimen	Titik Pengujian				
Non <i>Original</i> (600°C)	1	2	3	4	5
	47	48	48	47	48
Rerata HRC Pin <i>Original</i>	48				

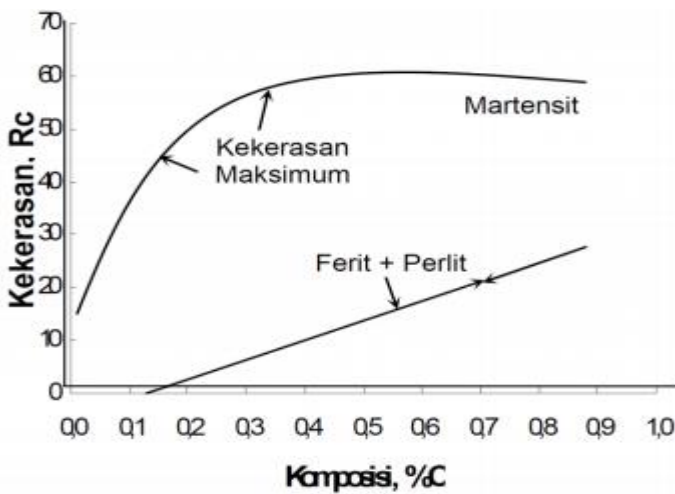
4.4.2 Data Hasil Pengujian Komposisi Kimia Spesimen Uji

Pada pengujian komposisi kimia pada spesimen uji pin piston *original* dan *non original* didapatkan persentase komposisi kimia sebagai berikut. Hasil pengujian ini ditunjukkan pada table 4.2 dibawah ini.

Table 4.2 Hasil pengujian komposisi kimia pada spesimen uji

<i>ORIGINAL</i>	
Unsur	%
Fe	97,2
C	0,443
Cr	0,958
Mn	0,771
Si	0,203
Mo	0,185

<i>NON ORIGINAL</i>	
Unsur	%
Fe	97,1
C	0,409
Cr	0,933
Mn	0,734
Si	0,195
Mo	0,180



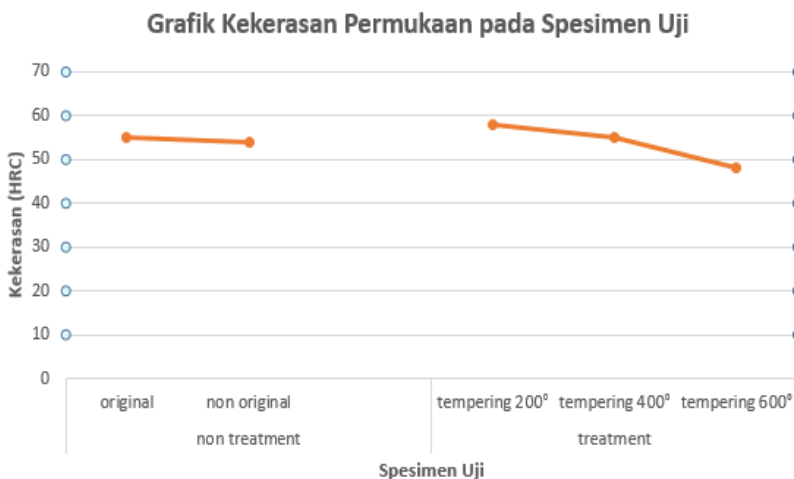
Gambar 4.5 Pengaruh komposisi kimia terhadap kekerasan
(Pollack, 1988)

Berdasarkan hasil uji komposisi kimia yang ditunjukkan pada table 4.2 dimana setiap unsur pada spesimen uji pin piston

original memiliki persentase lebih tinggi dibandingkan spesimen uji pin piston *non original*. Dengan adanya perbedaan persentase unsur kimia pada spesimen uji pin piston *original* dan *non original* dapat diketahui perbedaan kekerasan permukaan antara spesimen uji pin piston *original* dan *non original*. Hal ini dapat dilihat pada gambar 4.5.

4.4.3 Pembahasan Pengujian Kekerasan Rockwell pada Permukaan Specimen Uji

Dari Table 4.1 diperoleh rerata kekerasan permukaan dari setiap spesimen *original* dan *non original* dengan variasi *tempering* 200°C, 400°C, 600°C dan didapatkan grafik kekerasannya pada gambar 4.5 :



Gambar 4.6 Grafik pengaruh variasi *tempering* terhadap kekerasan permukaan spesimen uji

Berdasarkan hasil pengujian komposisi kimia pada baja AISI 4140 pada tabel 4.2 dapat diketahui perbedaan unsur-unsur kimia antara *non original* dan *original*. Dengan adanya perbedaan

presentase unsur kimia pada spesimen uji, hal ini akan mempengaruhi kekerasan dari spesimen uji, dapat dilihat pada gambar 4.5. Pada proses perlakuan panas sebelum dan sesudah *tempering* didapatkan hasil berupa perubahan sifat mekanis, yaitu sifat kekerasan terhadap baja AISI 4140. Spesimen dengan perlakuan panas kemudian didinginkan secara cepat dengan media pendingin berupa air, kekerasannya meningkat dibandingkan tanpa dengan perlakuan panas. Perubahan sifat kekerasan juga dapat dipengaruhi oleh temperatur *tempering*. Adapun perubahan nilai kekerasan dapat dilihat dari hasil grafik data kekerasan pada gambar 4.6, dimana menunjukkan bahwa spesimen pin piston *original* memiliki rerata nilai kekerasan yang merata yaitu dengan rerata kekerasan 55 HRC dan spesimen pin piston *non original* yang tanpa diberikan perlakuan panas memiliki rerata kekerasan yaitu 54 HRC.

Pada semua spesimen pin piston *non original* yang sudah dilakukan proses *tempering* telah terjadi peningkatan kekerasan. Spesimen pin piston *non original* dengan variasi *tempering* 200°C nilai kekerasannya meningkat 7,4 % dari spesimen pin piston *non original* dengan rerata kekerasan 58 HRC. Pada spesimen pin piston *non original* dengan variasi *tempering* 400°C nilai kekerasannya meningkat 1.85 % dari spesimen pin piston *non original* dengan rerata kekerasan 55 HRC. Spesimen pin piston *non original* dengan variasi *tempering* 600°C memiliki penurunan 11,11 % dari spesimen pin piston *non original* dengan rerata kekerasan 48 HRC. Penurunan kekerasan akibat proses *tempering* disebabkan struktur martensit cenderung untuk berubah menjadi martensit temper dan juga cenderung untuk bertransformasi menjadi bainit atau membentuk endapan karbida. Martensit yang didefinisikan sebagai larutan padat lewat jenuh dari karbon yang terjebak didalam struktur tetragonal pemusatan ruang, merupakan fasa yang tidak stabil yakni ketika diberi energi berupa penemperan, karbon akan mengendap sebagai karbida dan besi akan menuju kebentuk kubus pemusatan sisi. Jadi dapat dikatakan

bahwa menurunnya kekerasan bahan disebabkan oleh menurunnya sifat tetragonal martensit dan mulai terbentuknya pengendapan karbida dan pembentukan ferit dengan meningkatnya penemperan.

Berdasarkan hasil pengujian kekerasan pada permukaan spesimen dengan metode Rockwell dapat disimpulkan bahwa spesimen *non original* dengan proses *tempering* 200°C terjadi peningkatan kekerasan paling tinggi yaitu sebesar 7,4 % dari spesimen *non original* yang tanpa dilakukan proses *tempering*, dan terjadi peningkatan kekerasan sebesar 5,45 % dibandingkan spesimen *original*. Dari pengujian yang dilakukan pada spesimen *non original* dengan proses *tempring* 200°C memiliki hasil yang paling sesuai, hal tersebut disebabkan pada saat pendinginan melalui *range austenite metastabil*, proses nukleasasi berjalan lambat. pada saat proses nukleasasi berjalan lambat, dilakukan pendinginan lambat (ditahan di udara sesaat) dan kemudian dilakukan pendinginan cepat. Sehingga, inti akan tumbuh perlahan yang disebabkan proses difusi, jarak inti atom menuju batas butir memerlukan jarak dan waktu yang lebih lama sehingga butir austenite menjadi lebih besar dan kasar. Sehingga *hardenability* spesimen menjadi meningkat.

DAFTAR PUSTAKA

1. Anonim, 2013, "What's Hardness Test (<http://www.alatuji.com/article/detail/3/what-is-hardness-test-uji-kekerasan>)
2. "Chromium Molybdenum", JIS G 4105 (1965), JIS Standard handbook for Ferrous Material, 1969, pp. 67
3. Fuad Abdillah, 2013, "Studi Komparasi Heat Treatment Terhadap Sifat-Sifat Mekanis Material Pin Piston", Tugas Akhir Teknik Mesin, IKIP Veteran Semarang.
4. Ika Wahyuni, Dkk, 2013 "Uji Kekerasan Material Dengan Metode Rokwell", Tugas Akhir, Universitas Airlangga.
5. Lely Susita R.M, Dkk, 2012, "Deposisi Lapisan Nitrida Pada Permukaan Pin Dan Ring Piston Dengan Metoda DC Sputtering", Pusat Teknologi Akselerator Dan Proses Bahan (PTAPB)-BATAN.
6. Pollack, H.W, 1988 "*Materials Science and Metallurgy*", 4th, New Jersey, Prentice Hall.
7. Vivek Gopi, R.sellamuthu, Sanjivi Arul, 2014 "*Measurement Of Hardness, Wear Rate And Coefficient Of Friction Of Surface Refined Al-Cu Alloy*", Procedia Engineering.

8. Wilyanto Anggono, Ian Hardianto Siahaan, Agus Dwi Cahyono, 2008, “Optimasi Proses Tempering Baja Aisi 4140 Untuk Peningkatan Sifat Mekanik Roller Cyclo Speed Reducer”, Tugas Akhir Teknik Mesin, Universitas Kristen Petra.

RIWAYAT PENULIS



Windra Sampurna dilahirkan di Air Batu Buding, 27 November 1991. Merupakan anak kedua dari dua bersaudara, dari pasangan Wahidin Kaman dan Suhaimi.

Telah menempuh pendidikan formal yaitu di SDN 9 Badau, SMPN 2 Kelapa Kampit (2003 - 2006), SMAN 1 Kelapa Kampit (2006 - 2009) dan Diploma 3 di Politeknik Negeri Jakarta (2009 - 2012). Setelah lulus studi diploma 3 pada tahun

2012, penulis melanjutkan studi ke tahap sarjana di Teknik Mesin Institut Teknologi Sepuluh Nopember pada tahun 2013, kemudian fokus pada bidang studi DESAIN. Pada bulan juli 2016 Penulis mengikuti seminar dan ujian tugas akhir dari Institut Teknologi Sepuluh Nopember. Penulis memiliki harapan agar ilmu yang telah didapatkan dapat berguna untuk agama dan negara.